7.Слепцов А.И, Юрасов А.А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств. – К.: Техніка, 1986. – 162 с.

8.Костин А.Е. Принципы моделирования сложных дискретных систем. – М.: МИЭТ, 1983. – 107 с.

9.Пранявичус Г.В., Дземидене Д.Д.. Применение Е-сетей для формализованного описания и моделирования вычислительных систем // Статистические проблемы управления. Вып.48. – Вильнюс, 1998. – С.65-85.

10.Бородич П.Ю. Особенности изменения легочной вентиляции в ходе выполнения работ по тушению пожаров на станциях метрополитена // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Вып.13. – Харьков: АПБУ, 2003. – С.60-80.

11.Стрелец В.М. Методы эргономической оценки деятельности личного состава подразделений пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Спец. вып. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С.60-80.

12.Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.

13.Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Наука, 1948. – 566 с.

14.Стрелец В.М. Экспертная оценка операций боевого развертывания пожарного автомобиля // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Юб. вып. – Харьков: ХИПБ, 1998. – С.40-43.

15.Стрелец В.М., Мамон В.П., Стрелец В.В. Особенности применения пожарно-технических средств при проведении спасательных работ в метрополитене // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 27. – К.: Техніка, 2001. – С.306-311.

Отримано 23.02.2004

УДК 614.84 : 628.174

В.П.ОЛЬШАНСКИЙ, д-р физ.-матем. наук
Академия гражданской защиты Украины, г.Харьков

О ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПОЛОГОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СТРУИ

Построено аналитическое решение упрощенных уравнений движения частицы жидкости в воздухе при полиномиально-квадратичной зависимости силы сопротивления от скорости потока. Показано, что полученное решение позволяет строить траектории пологих гидравлических струй и рассчитывать их параметры. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных длин струй и отмечена хорошая сходимость результатов.

Свободные гидравлические струи используют для тушения пожаров, мытья улиц и транспортных средств, полива растений и др. Поэтому их расчету уделяется должное внимание в курсах гидравлики. Аналитическое решение задачи гидродинамики, описывающее движение жидкости в воздушной среде, сопряжено со значительными математическими трудностями. В связи с этим в технических расчетах параметры струи вычисляют с помощью эмпирических соотношений, предложенных Люгером, Фриманом, Лобачевым и другими исследователями [1-3]. В них не рассматривается динамика частиц жидкости и не строится траектория их движения, а идет речь лишь об определении отдельных параметров траектории, таких как длина, радиусы действия и пр. Поэтому желательно иметь более полную информацию о движении жидкости, особенно с позиций проектирования систем автоматического пожаротушения.

В последнее время наметилась тенденция описания траекторий струй с помощью решений уравнений движения материальной точки в пространстве [4-7]. Исследованы различные зависимости силы сопротивления от скорости потока. В работе [4] изучены случаи линейной и квадратичной зависимостей. Показано, что, приняв коэффициент сопротивления пропорциональным начальной скорости истечения струи, в рамках линейной теории, можно достичь удовлетворительного согласования теории с экспериментом для траекторий наклонных струй. Поэтому в работе [5] этот подход использован для расчета высоты вертикальной струи. В [6] построено аналитическое решение в квадратурах уравнений движения, в предположении, что сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости потока. В работе [7] при расчете высоты вертикальной струи использована квадратично-полиномиальная зависимость силы трения от скорости движения. Показано, что такой вариант теории хорошо согласуется с экспериментами Вейсбаха по высотам вертикальных струй.

Ниже ставится задача обобщить результаты работы [6] на случай, когда зависимость силы сопротивления от скорости потока описывается полиномом второй степени, т.е. в ней есть как линейное, так и квадратичное слагаемое.

При ее решении исходим из системы нелинейных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \ddot{x} + \alpha\,\dot{x} + \beta\,\dot{x}\cdot\left(\dot{x}^2 + \dot{y}^2\right)^{1/2} = 0 \\ \ddot{y} + \alpha\,\dot{y} + \beta\,\dot{y}\cdot\left(\dot{x}^2 + \dot{y}^2\right)^{1/2} = -g. \end{cases} \tag{1}$$

Здесь $\alpha = 4K_{1c}(\rho D)^{-1}$; $\beta = 4K_{2c}(\rho D)^{-1}$; K_{1c}, K_{2c} – коэффициенты сопротивления движению; ρ – плотность жидкости; D – диаметр насадка; g – ускорение свободного падения; x, y – горизонтальная и вертикальная координаты частицы жидкости на траектории движения; точка означает производную по времени t.

Начальными условиями к уравнениям (1) берем:

$$x(0) = 0;\ \ y(0) = y_0;\ \ \dot{x}(0) = \upsilon_{10} = \upsilon_0 \cos\theta;$$

$$\dot{y}(0) = \upsilon_{20} = \upsilon_0 \cos\theta, \tag{2}$$

где υ_0 – скорость истечения струи из насадка; θ – угол наклона оси ствола к горизонту.

Построение точных аналитических решений системы (1) не представляется возможным. Поэтому для углов $\theta < 30^0$ упростим ее. Будем пренебрегать величиной $\dot{y}^2$ по сравнению с $\dot{x}^2$.Тогда для приближенного расчета траектории, вместо (1), получаем упрощенную систему

$$\begin{cases} \ddot{x} + \alpha \cdot \dot{x} + \beta \cdot \dot{x}^2 = 0 \\ \ddot{y} + \alpha \cdot \dot{y} + \beta \cdot \dot{x} \cdot \dot{y} = -g \,. \end{cases} \qquad (3)$$

Здесь первое уравнение не зависит от второго. Интегрируя его, с учетом условий (2), находим

$$\dot{x} = \frac{\upsilon_{10}}{(1+\gamma) \cdot e^{\alpha t} - \gamma}; \qquad x(t) = \frac{1}{\beta} \ln\left[1 + \gamma \cdot (1 - e^{-\alpha t})\right]. \qquad (4)$$

Здесь $\gamma = \beta \upsilon_{10} \alpha^{-1}$.

Подставив выражение (4) во второе уравнение системы (3), после интегрирования его с учетом (2) получаем

$$\dot{y} = -\frac{g}{\alpha} + \left(\upsilon_{20} + \frac{g}{\alpha} + g\gamma\, t\right) \cdot \left[(1+\gamma) \cdot e^{\alpha t} - \gamma\right]^{-1}; \qquad (5)$$

$$y(t) = y_0 - \frac{gt}{\alpha} + \left(\upsilon_{20} + \frac{g}{\alpha}\right) \cdot \frac{1}{\alpha\gamma} \ln\left[1 + \gamma \cdot \left(1 - e^{-\alpha t}\right)\right] + g\gamma \cdot I(t).$$

Интеграл $I(t) = \int\limits_0^t t\left[(1+\gamma) \cdot e^{\alpha t} - \gamma\right]^{-1} dt$ не выражается в элементарных функциях. В общем случае его приходится находить численно на компьютере. Однако, учитывая небольшую продолжительность движения частиц жидкости на траектории, можно дать приближенную формулу для вычисления $I(t)$. Так, если соблюдается неравенство

$$\alpha\, t \le 0{,}2\,, \qquad (6)$$

то, выполнив приближенное аналитическое интегрирование с помощью введения аппроксимации $\exp(\alpha t) \approx 1 + \alpha t + \frac{1}{2} \cdot (\alpha t)^2$, находим

$$I(t) \approx \varepsilon \cdot \left[\left(1+\alpha\varepsilon\right)\cdot t - \frac{1}{4}\alpha t^2 - \varepsilon \cdot \left(1+\frac{3}{2}\alpha\varepsilon\right)\ln\left(1+\frac{t}{\varepsilon}\right) + \frac{\alpha\varepsilon^2}{2\cdot\left(t+\varepsilon\right)}t \right]. (7)$$

Здесь $\varepsilon = \dfrac{1}{(1+\gamma)\cdot\alpha} = \dfrac{1}{\alpha+\beta\upsilon_{10}}$.

Чтобы оценить точность приближенной формулы (7), в табл.1 указаны значения $I(t)$, вычисленные для различных αt и γ. В числители записаны результаты, полученные численным интегрированием, а в знаменатели – вычисленные по формуле (7).

Таблица 1 – Значения $10^3 I(t)$

αt	$\gamma = 1$	$\gamma = 10$	$\gamma = 50$	$\gamma = 100$	$\gamma = 500$
0,05	$\frac{1,171}{1,171}$	$\frac{0,919}{0,919}$	$\frac{0,489}{0,489}$	$\frac{0,315}{0,315}$	$\frac{0,086}{0,086}$
0,10	$\frac{4,401}{4,401}$	$\frac{2,919}{2,919}$	$\frac{1,238}{1,238}$	$\frac{0,736}{0,736}$	$\frac{0,179}{0,179}$
0,15	$\frac{9,324}{9,326}$	$\frac{5,445}{5,446}$	$\frac{2,039}{2,038}$	$\frac{1,168}{1,168}$	$\frac{0,272}{0,272}$
0,20	$\frac{15,643}{15,651}$	$\frac{8,259}{8,260}$	$\frac{2,852}{2,850}$	$\frac{1,599}{1,597}$	$\frac{0,362}{0,362}$

Как видно, при соблюдении неравенства (6) можно обойтись без численного интегрирования в (5).

В полученных выше решениях целесообразно исключить параметр времени t. Действительно, из (4) следует, что

$$t = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{\gamma}{1+\gamma-\exp(\beta x)}. \qquad (8)$$

Таким образом, формулы (5), (7) и (8) позволяют строить траекторию струи, как график явно заданной функции $y(x)$. Но для этого нужно знать коэффициенты α и β. Их приходится находить путем идентификации, используя результаты экспериментальных исследований.

Найдем значения α и β для экспериментального образца ручного пожарного ствола РСД-2 [8]. Длины сплошной струи, измеренные в соответствии с ДСТУ [9], в зависимости от напора H, отмечены символом $l_э$ в табл.2.

По указанным экспериментальным данным [8], методом последовательного суждения задаваемых интервалов [10], на компьютере найдено: $\alpha = 1{,}07 \cdot 10^{-2}$ с$^{-1}$; $\beta = 8{,}3 \cdot 10^{-2}$ м$^{-1}$. Затем по формулам (4), (5), (8) вычислены значения l_T, записанные в табл.2. Согласно ДСТУ [9], принимали $y_0 =$ 1 м, $\theta = 30^0$. За длину струи принимали то значение x, при котором $y(x) = 0$.

Таблица 2 – Экспериментальные $l_э$ и теоретические l_T длины сплошной струи (в метрах)

H, м	50	60	70	80	90	100	110
$l_э$, м	21,0	21,4	22,6	24,4	25,1	25,4	25,9
l_T, м	20,61	21,89	22,97	23,92	24,75	25,50	26,17

Сравнивая расчетные и экспериментальные значения длин сплошной струи, видно, что расхождение результатов не превышает 3%.

О формах траекторий сплошной струи позволяют судить данные в табл.3, где указаны координаты отдельных точек траекторий. Они вычислены при $y_0 =$ 1 м, H = 70 м для трех значений угла θ.

Таблица 3 – Координаты точек (в метрах) на траекториях сплошных струй

x, м	$\theta = 20^0$	$\theta = 25^0$	$\theta = 30^0$	x, м	$\theta = 20^0$	$\theta = 25^0$	$\theta = 30^0$
	Значения $y(x)$, м				Значения $y(x)$, м		
1	1,36	1,46	1,57	12	4,09	5,22	6,42
2	1,71	1,91	2,13	14	4,06	5,34	6,69
4	2,37	2,78	3,21	16	3,69	5,09	6,55
6	2,97	3,57	4,22	18	2,85	4,34	5,85
8	3,49	4,27	5,12	20	1,34	2,86	4,37
10	3,87	4,84	5,87	22	-	0,38	1,78

Расчет показывает, что с ростом θ увеличивается высота и длина траектории, а также происходит смещение максимума в сторону больших x, т.е. длина восходящего участка траектории существенно больше, чем длина нисходящего.

В работе [8] определены экспериментально длины и диспергированных струй, которые дает ствол РСД-2 при различных напорах H. Они отмечены в табл.4 символом $l_э$.

По этим экспериментальным данным, методом последовательного сужения задаваемых интервалов, проведена идентификация коэффициентов α и β. Оказалось, что для диспергированной струи $\alpha = 5{,}36 \cdot 10^{-3}$ с$^{-1}$; $\beta = 0{,}140$ м$^{-1}$. Расчет длин струй по формулам (5), (7),

(8) для этих значений коэффициентов дал l_p, которые указаны в табл.4. Расхождения между теоретическими и экспериментальными результатами не превышает 3%, что свидетельствует об удовлетворительной точности теории.

Таблица 4 – Экспериментальные $l_э$ и расчетные l_p длины диспергированной струи (в метрах)

H, м	50	60	70	80	90	100	110
$l_э$, м	15,0	15,4	16,0	16,9	17,1	17,3	17,6
l_p, м	14,64	15,40	16,04	16,60	17,09	17,53	17,93

Выполненное исследование приводит к следующим выводам:

1. Полученные выше приближенные замкнутые решения позволяют строить траектории пологих гидравлических струй и определять их основные параметры.

2. При надлежащей идентификации коэффициентов квадратично-полиномиальной зависимости силы сопротивления от скорости потока удается достичь хорошего согласования теории с экспериментом, как для сплошных, так и для диспергированных свободных гидравлических струй.

1.Тарасов-Агалаков Н.А. Практическая гидравлика в пожарном деле. – М.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1959. – 262 с.

2.Качалов А.А., Воротынцев Ю.П., Власов А.В. Противопожарное водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 286 с.

3.Иванов Е.Н. Противопожарное водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.

4.Ольшанский В.П. О применении методов механики к расчету траектории пожарной гидравлической струи // Проблемы пожарной безопасности. Юбилейный вып. – Харьков: АПБУ, 2003. – С. 136-146.

5.Ольшанский В.П. Об одной полуэмпирической теории гидравлической пожарной струи // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АПБУ. Вып. 13. – Харьков: Фолио, 2003. – С.109-114.

6.Ольшанский В.П. О траектории гидравлической пожарной струи // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АПБУ. Вып. 14. – Харьков: Фолио, 2003. – С. 144-151.

7.Ольшанский В.П., Халыпа В.М. К расчету параметров гидравлических пожарных струй // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АПБУ. Вып. 14. – Харьков: Фолио, 2003. – С. 137-143.

8.Антонов А.В., Присяжнюк В.В., Кравчуновський В.П. Дослідження ефективності застосування дослідного зразка ручного пожежного диспергувального ствола РСД-2 // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – 2002. – № 2 (6). – С. 171-174.

9.Державні стандарти України. Пожежна безпека. Продукція протипожежного призначення. Перший випуск. – К.: Пожінформтехніка, 2000. – 640 с.

10.Криса И.А., Ольшанский В.П. Идентификация параметров очагов самонагревания растительного сырья в стационарном режиме. – К.: Пожинформтехника, 2002. – 152 с.

Получено 24.02.2004

А Р Х И Т Е К Т У Р А

УДК 712

ШЕХАДИ АЛИ ХАСАН
Харьковская национальная академия городского хозяйства

СПЕЦИФИКА ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНОЙ СРЕДЫ В ГОРОДАХ ЛИВАНА

Рассматриваются особенности формирования архитектурно-ландшафтной среды в городах Ливана в процессе ее эволюционного развития с учетом природно-климатических факторов.

Ливанскую республику характеризуют разнообразные природно-климатические условия. Это преимущественно горная страна. Горный и предгорный ландшафт занимает около 60% территории. Приморская равнинная зона очень узка. На юге, где горы близко подходят к берегу, ее ширина составляет всего 1,5 км; на севере она расширяется, достигая местами 10 и более километров. Вместе с тем приморские территории Ливана являются наиболее плотно заселенной и интенсивно освоенной зоной страны. на побережье сконцентрированы 12 приморских городов, семь из которых являются городами – административными центрами мухофаза (Бейрут, Триполи, Сайда) или када (Тир, Батрун, Дкубейль, Джуния). Плотность населения на приморских территориях достигает 400-450 чел/м^2, в то время как в Горном Ливане – 30-35 чел/км^2.

Все это свидетельствует о том, что приморские города играют ключевую роль в формировании социально-экономического потенциала Ливана, являясь морскими входами в страну, на базе которых осуществляется основной товарно-денежный оборот. Этому способствует удобное географическое расположение Ливана.

Ливан расположен на восточном побережье Средиземного моря. Территория Ливана – 10,4 тыс. км^2, численность населения – 4,0 млн. человек. Республика Ливан занимает важное транзитно-транспортное значение в Средиземноморском бассейне, являясь западными морскими воротами в Азию, а также звеном, связывающим ее с Европой (око-